

## Energy-saving technique scheme for PWM-VVVF inverter

**Publication number:** CN1114476 (A)

**Publication date:** 1996-01-03

**Inventor(s):** JUDA TU [CN] +

**Applicant(s):** TU JUDA [CN] +

**Classification:**

- **international:** (IPC1-7): H02P7/52

- **European:**

**Application number:** CN19931020360 19931125

**Priority number(s):** CN19931020360 19931125

### Abstract of CN 1114476 (A)

The energy-saving technique for PWM-VVVF inverter belonging to AC-DC-AC inversion technique features that it avoids the harmonic carried along by triangular wave method, the running parameters of motor are used to calculate the torque and speed to obtain optimal voltage and frequency to control motor, the torque and speed curve of motor is measured for programming optimal start and regulation procedure, and microcomputer control technique is used.

---

Data supplied from the **espacenet** database — Worldwide



## [12]发明专利申请公开说明书

[21]申请号 93120360.0

[51]Int.Cl<sup>6</sup>

H02P 7/52

[43]公开日 1996年1月3日

[22]申请日 93.11.25

[71]申请人 涂矩达

地址 630080四川省重庆市大渡口区石板场  
15-12号

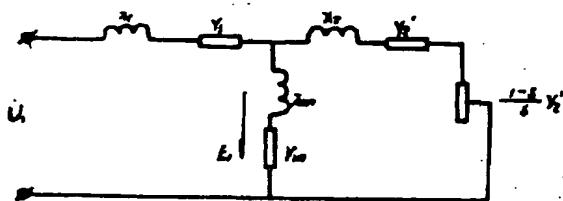
[72]发明人 涂矩达

权利要求书 2 页 说明书 8 页 附图页数 1 页

[54]发明名称 PWM-VVVF逆变器节能技术方案

[57]摘要

PWM-VVVF 逆变器节能技术属交-直-交逆变技术领域主要是提高节能效果。其特征在于：它避开了三角波法带来的谐波；它用电机运行参数计算电机转矩、转速，进而算取得最高效率应有的电压、频率，并据以控制电机；它用高精度测功率法与在稳速时自趋最高效率点法配套；它能测定电机的转速、转矩曲线，能进而编制最佳的起动、调节过程；它是全数字式微机控制技术；它易移植于 PAM-VVVF 技术，二者都能在低频至工频及以上的交流电动机应用，也能用于非传动负荷。



## 权 利 要 求 书

---

1、一种 P W M - V V V F 逆变器节电技术方案，其特征在于： a、它用微机技术直接编制三相脉冲的通断程序以避开三角波法带来的谐波和在低频运行时补偿电机电阻电压降、分散原有太集中的脉冲为均匀分布而总脉宽不变的脉冲列以缓解电机的振动现象； b、它以一套计算方法，由电机运行参数计算电机转矩 M、转速 n、算出每一个 M、n 配对下取得最高效率应有的电机电压 V、频率 f，并据以控制电机运行； c、它有一种数字式、高精度、高分辨率的电机输入功率测定法；还为之配套了两种在稳速下自趋最高效率点的方法，其一是仿上述既知 M、n 值求应有的 V、f 值法作更细的搜索；其二是对只需在稳速点取得最高效率，不作 M、n 计算仍用微机技术的自寻最高效率点法； d、它有一种用上述的 M、n 计算法测定带荷下的 M、n 关系曲线法；有一种对基本的 M、n 曲线配上适当的加速方式以取得最佳的起动、调节或节能效果的方法； e、它是全数字式微机控制技术； f、它很易移植于 P A M - V V V F 逆变技术；二种逆变技术都能用于从低频到工频及以上的交流异步及同步电动机和非传动负荷。

2、按权利要求书1a所述的以微机技术直接编制三相脉冲的通断程序，它是将每次三相脉冲产生时的两个较窄脉冲的应有宽度不变，只相互靠拢而不并连为基础。

3、按权利要求书1b所述的一套计算方法，它是以异步电动机的等值电路和向量图为基础，经传动原理推导而成。

4、按权利要求书1c所述的数字式、高精度、高分辨率测定输入功率的方法它是以霍尔元件取得电流信号再换为数字量，用时钟脉冲计数取得电角量等方法组成的；它的不作M、n计算以自寻最高效率点法是将v、f的微调和n的保持三者结合，用智能算法或优选法实现的。

5、按权利要求书1d所述的用M、n的计算法测定实际的负荷曲线法等，是以低加速度下计算，记录M、n关系或设定若干测点分别在稳速下算M、n关系后联为曲线而成；还用微机技术配上多种加速方式，以选择最适合的起动、调节或节能的控制过程。

6、按权利要求书1f所述的种种用途，是由于每种用途都有v、f关系的优化问题和节能效果的充分发挥问题，在处理问题的原理、方法上也有互通处。

# 说 明 书

## PWM—VVVF逆变器节能技术方案

一种PWM—VVVF逆变器节能技术方案，它属交一直一交逆变技术领域。

这种技术已广泛进入国际市场，成为调压调频技术中的重要类型。愈来愈多的有关技术人员从不同的角度和目标进行探索，并丰富了市场的供需内容。发明人从所接触到的资料中，观察到了两个很普遍存在的问题：一是三角波法形成的电压波形受它自身的结构带来的干扰，有损于正弦形。二是对调节效果的节能方面还有提高的必要和可能，在前者方面，尚未见有从本发明相同的途径所作的努力。在后者方面已知日本富士逆变器资料(Frenic 5000GT/PT 30—280kw)中提到了不用转速反馈装置的转矩、转差计算而无技术内容。仅一语提及调压节能而无实施方法，本发明则是在保证转速、转矩的基础上自动调节电压V、频率f以达最高效率。

下面以对笼形异步电动机调速节能为主说明有关主要内容。

### 1、关于三角波法

三角波法的脉宽形成有如图一。其中三角波与正弦波交叉如图一(a)形成的等效正弦波如图一(b)。可见每个脉冲中线约在各倒立三角形尖端，将三相联观，取每10度电角一个脉冲，则在A相的60°～90°间的脉冲位置有如表一

(表一) A相以60°～90°每隔5°的三相电压及其Sin值

A 相	0°	60	65	70	75	80	85	
	sin θ	0.866	0.906	0.94	0.966	0.986	0.996	1
B 相	θ°	-60	-55	-50	-45	-40	-35	-30
	sin θ	-0.866	-0.819	-0.766	-0.707	-0.643	-0.574	-0.5
C 相	θ°	9	-5	-10	-15	-20	-25	-30
	sin θ	0.867	-0.174	-0.259	-0.342	-0.423	-0.5	

表中, 以额定电压、频率时的脉宽为基准值, 每一个脉冲段(10电角)的脉宽标幺值取该段电角的平均值( $65^\circ$ 、 $75^\circ$ 、 $85^\circ$ )的正弦值, A、B、C三相的相应值如表, 可见每一点的A相脉宽为另二相之和. 将表中电角均延伸 $30^\circ$  则为一个排列方式的循环. 于是A相的 $60^\circ$  ~  $120^\circ$  后为C相  $-60^\circ$  ~  $-120^\circ$ , B相  $60^\circ$  ~  $120^\circ$  A相  $-60^\circ$  ~  $-120^\circ$  C相  $60^\circ$  ~  $120^\circ$  B相  $-60^\circ$  ~  $-120^\circ$  为一个周波. v、f变化时这种相互关系不变, 只改变各sin值及由此带来的脉宽及脉冲间中线距。

这种脉冲产生时每次都要发生三相脉冲间两个窄脉冲相并联再与最宽脉冲串联和两个窄脉冲均断开后, 最宽脉冲亦不能导通的情况. 这就改变了预期的三相电流、电压、功率互不干扰地以各自的正弦波段运行的效果, 避开的措施。一、将两个窄脉冲以原有的宽度相靠拢, 只在前一脉冲断开前, 先导通后一脉冲再断开前者, 两个窄脉冲各靠近它所等效的原来波形面积的重心。二、将两个窄脉

冲之总宽分为二等分，每一等分又按该段原波形的面积分配脉宽及靠近各自的重心。三、如果需要(如低频时)宜分更多的等分。

还应解决两个问题：1、低频运行时要增大V值以补偿电阻电压降带来的转矩下降，2、同时要均匀分散脉宽使变为若干个等宽窄脉冲，但总宽不变以缓解电机振动现象。

所有这些都应纳入脉宽调制的设计中，但又要以种种方式(如计算加查表的方法)以简化运行中的计算过程，压缩调节周期。

## 2、转速、转矩的计算

以附图二的等值电路为基础，其中的 $r_1$ 、 $X_1$ 、 $r_2$ 、 $X_2$ 、 $X_m$ 、 $r_m$ 等可以向制造厂家索取，关于 $X_m$ 、 $r_m$ 还应取磁化曲线等资料以计算二者随电压、频率而变的规律。市场需要将有不少不能及时取得资料的情况，尽管我们可从旁的途径找出或测试得这些参数或其近似值，但本文只从已有这些资料出发说明问题，再加上图三的局部向量图就可导出下面的算式：

$$I_1 = \sqrt{W_p^2 + W_0^2} \times \sqrt{3} / V \quad (1)$$

$$\phi = \cos^{-1} \frac{W_0}{\sqrt{W_p^2 + W_0^2}} \quad (2)$$

$$\bar{12} = j I_1 X_1 \quad (3)$$

$$\bar{13} = v \sin \phi \quad (4)$$

$$\bar{24} = i_1 r_1 \quad (5)$$

$$E_1 \cos \phi = v \cos \phi - \bar{24} \quad (6)$$

$$E_1 \sin \phi = v \sin \phi - \bar{12} \quad (7)$$

$$E_1 = [(E_1 \cos \phi)^2 + (E_1 \sin \phi)^2]^{1/2} \quad (8)$$

$$\phi = \cos^{-1} \frac{v \cos \phi - 24}{E} \quad (9)$$

$$I_1 x_1 = I_1 \sin \phi \quad (10)$$

$$I_1 r_1 = I_1 \cos \phi \quad (11)$$

$$I_2' x = I_1 x - I_{m1} \quad (12)$$

$$I_2' r = I_1 r - I_{m2} \quad (13)$$

$$I_2' = (I_2'^2 + I_{2x}'^2)^{\frac{1}{2}} \quad (14)$$

以上各式中:  $W_p$ 、 $W_q$ 、 $V$ 为相应有功无功功率和电压、 $I_{m1}$ 、 $I_{m2}$ 是从制造厂提出磁化曲线有关资料, 按  $f$  (频率)、 $V$  (电压) 变化而算得, 并作成用  $f$ 、 $E$  以查  $I_{m1}$  及  $I_{m2}$  的表二 (表二略)。于是可建立下述方程式:

$$W_p = I_1^2 r_1 + W_{m1} + I_2'^2 r_2' / S_f \quad (15)$$

式中  $W_{m1}$  为  $I_{m1}$  引起的电功率消耗应在表二中加入查  $W_{m1}$  一值,  $S$  加上脚号表示是在定子当时的频率  $f$  下的转差率。

式 15 中  $S_f$  为未知数, 可据以解出  $S$  值, 然后

$$n = n_f (1 - S_f) \quad (16)$$

式中  $n_f$  为定子电源实际频率  $f$  时的同步转速。由于  $n_f$  与工频时同步转速  $n_0$  之比为  $f/f_0$ , 故

$$n = n_0 f / f_0 \quad (17)$$

$$n = n_0 f (1 - S_f) / f_0 \quad (18)$$

式中  $f_0$  为工频频率

$$M = I_2' r_2' \left( \frac{1 - S_f}{S_f} \right) \quad (19)$$

$$M_3 = M / M_R \quad (20)$$

上二式中， $M$ 为转矩， $M_3$ 为转矩标么值， $M_R$ 为电机在额定状态下的转矩、为基准值。

依照这个算法便可以用慢加速度在需要测定的加速段记录下同时出现的 $M$ 、 $n$ 值而得实际的转矩、转速关系曲线，也可选定若干有代表性的点作稳速运行而记录各 $M$ 、 $n$ 值，联成曲线，找得运动体的 $GD^2$ 值后，还可用微机技术设定多种与曲线配合的加速度控制法以比较其运行效果，从中选出最好的起动、调节或节能的控制过程。

### 3、提高效率法

同样的转速( $n$ )、转矩( $M$ )组合，有多种 $v$ 、 $f$ 、 $S$ 组合法，它的铁损、铜损之和最小时便是效率最高点， $S$ 愈小而铁损愈大、铜损下降，反之，则铁损下降，铜损上升。应该顾及 $S$ 小而机械特性硬的问题，但本发明的转速调节可以作到很灵敏，能在转矩、转速微变时立即作出有效反应，即调压以补偿转矩，调频以避开过大转差率，再返回正常值，且二者又是协调应变的，可以缓解特性硬度和节能的矛盾，以下只说明效率提高方法，仍从等值电路及相应的向量法展开工作。

设定一个 $n_1$ 、 $M_1$ 值，试取 $S_{f_1}$ 以式(19)算 $I_2'$ ，以式(18)算 $f_1$ ，用 $E_1 = I_2' Z_2$ 得 $E_1$ ，用 $E_1$ 查表二得 $I_n$ 及 $W_n$ ，用 $I_1 = -I_2' + I_n$ 得 $I_1$ ，用 $v_1 = -E_1 + I_1 Z_1$ 得 $v_1$ ，用式(5)得 $W_v$ ，再取小(大)于 $S_{f_1}$ 的 $S_{f_2}$ 以求 $W_v$ ，此时，要 $n_1$ 不变，必须

$$f_1(1 - S_{f_1}) \cdots f_2(1 - S_{f_2}) \quad (21)$$

据式(21)以得  $f_2$ , 又因必需  $M_1$  不变而需

$$r_2' \left( \frac{1 - S_{f_1}}{S_{f_1}} \right) I_{2-1} = r_2 \left( \frac{1 - S_{f_2}}{S_{f_2}} \right) I_{2-2} \quad (22)$$

式中  $I_{2-1}$ 、 $I_{2-2}$  中的 -1、-2 为前后两次所取  $I_2$  之值

据式(22)以得  $I_{2-2}$ ; 再仿取得  $W_p$  的程序便得  $W_{p_2}$  以  $W_{p_2}$  减  $W_{p_1}$  得

$\Delta W_p$ , 如  $\Delta W_p$  为正, 则沿原来  $S$  变化方向搜索, 当出现  $\Delta W_p$  为负时, 则在反转区再细搜, 直至满意为止. 如何以最少的次数得到预期效果, 那是开发阶段中深入有关优选法运用研究问题. 按此前进便可作出有限精度的以转速、转矩查  $v$ 、 $f$  的表三(表三略)。

上面的程序是以算得转速、转矩查表找  $v$ 、 $f$ , 如果在控制系统中设定了转速、转矩的变化规律, 便可省去转矩、转速计算过程, 在上节末所述的最好的控制过程就可做到这点. 运行中的计算工作量就很少了。

还有由于表三中的数值精度有限, 负荷及调节过程中还有参数变化等, 尚不能得最高效率点, 为此, 我们考虑了两个措施:

(1)、提高主要反馈值  $W_p$ 、 $W_0$  的精度, 以霍尔元件取代电流互感器得定子电流波形和将运行中送入定子的  $v$ 、 $f$  作二者的反馈值, 再将电流模拟量用模数变换得数字量 ( $v$ 、 $f$  本来就是数字量) 而提高精度和分辨率, 再用时钟脉冲计算  $I_1$ 、 $V_1$  间的电角  $\theta_1$ , 则

$$W_p = I_1 \cdot V_1 \cdot \cos \theta_1 \quad (23)$$

$$W_0 = I_1 \cdot V_1 \cdot \sin \theta_1 \quad (24)$$

要校正由 PWM 的不连续波形带来的误差

(2)、以式(23)中的  $W$  作实际的有功功率直观的数字式信号

这样又有两个自动调节法：其一是用前述搜索最高效率点法作更细微的搜索；二是将  $v$ 、 $f$  的分别微调和  $n$  的保持三者融为一体，以智能算法或优选法支撑的调节法，这样便可省去前述大部份微机计量及其相应的组成部份、调节工作等，成为一种甚易普及、维修的新产品，考虑到大部份的节能量都是稳定运行状态下取得的（风机、泵类负荷更是如此），其使用价值就更不可忽视了。

#### 4、原理、方法和用途的延伸

PWM-VVF 和 PAM-VVF 两种逆变器间大同小异。都有三角波法的影响，有调压、调频间的最佳配合比问题。二者都可用于交流异步电动机和正在兴起的同步电动机的调速，用于各种频率范围的传动和非传动负荷，本发明将能发挥它应有的作用。

本发明是技术方案，本文只着重对所涉问题作改进探索。关于如何与已有技术作重更具体结合，因资料、目标、用途、方法繁多，只宜在有针对性的目标下作开发工作时进行研究。

#### 5、本发明与现有技术相較的积极效果

(1)、它对 PWM、PAM 的 VVF 逆变器所必须带来的谐波提出了避开的方法，使能更逼近正弦波形，并同时改善了低频运行时转矩下降及电机振动问题。

(2)、甚准确地，不用转速反馈地计算电机转矩、转速并据以算出要取得很好运行效率的  $v$ 、 $f$  值再以之控制电机运行性能。

(3)、对在稳速运动下取得更高效率，有一种提高取得有

功及无功功率输入量的精度和据以自动调节达到最高效率点的方法：其一是用上述计算法取得很好效率的方法作更细搜索；其二是简化大部份微机装置，而只在稳速时发挥取得最高效率点的简易而便普及的装置。

6、由于本发明涉及到较多技术领域及较大的技术经济价值，希望以合作或联合开发方式迅速、多方面地展开工作。

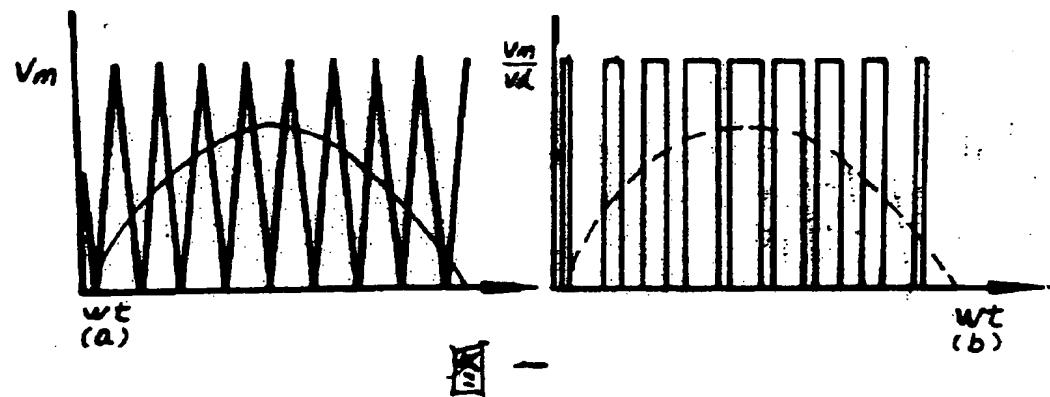
附图说明：

图1(a)为三角波与正弦波交叉图，图1(b)为按图1(a)的条件形成的矩形脉冲(每个半波9个脉冲)，它的等效正弦波与图1(a)的正弦波相同。

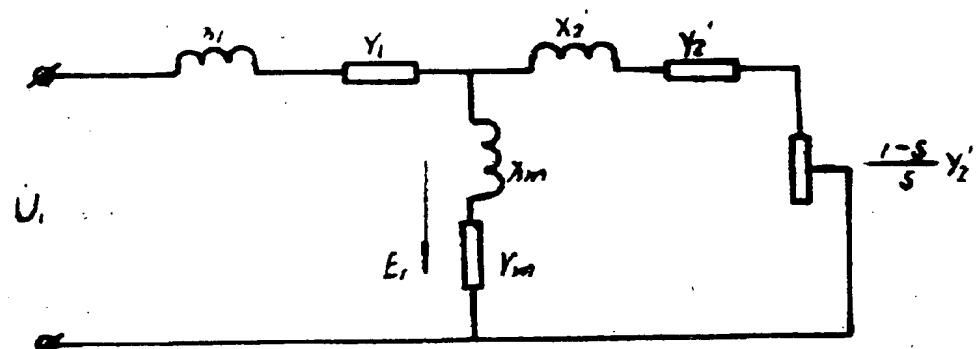
图2为异步电动机的等值电路其中的 $x_1, r_1, x'_2, r'_2, x_m, r_m$ 等分别为电机定子、转子，及激磁回路的电抗、电阻； $u_m, u$ 分别为矩形脉冲及直流电压的幅值。

图3为电机的局部向量图，即本说明书的计算所用到的部份向量图：

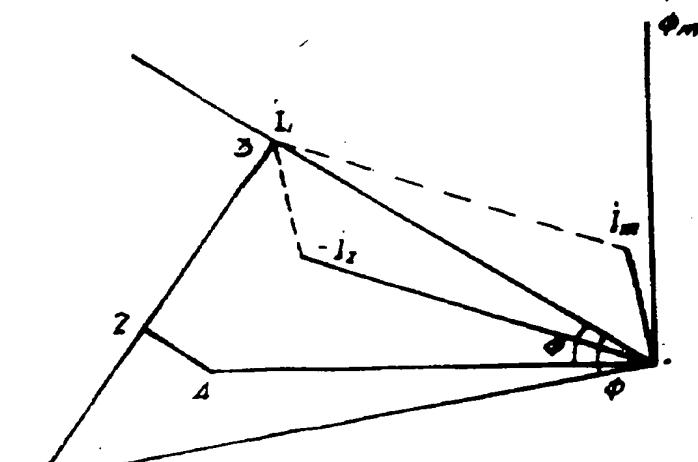
# 说 明 书 附 图



图一



图二



图三